

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Национальный
исследовательский ядерный
университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)»**

Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409
Тел. (499) 324-77-77, факс (499) 324-21-11
<http://www.mephi.ru>

18.10.2024 № 97-8/24

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор федерального
государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Национальный
исследовательский ядерный университет
«МИФИ»,

Доктор физико-математических наук,
Профессор

О.В. Нагорнов



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» на диссертационную работу Ермишиной Виктории Евгеньевны «Математические модели распространения нелинейных внутренних волн в слоистой стратифицированной жидкости», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа В.Е. Ермишиной посвящена развитию методов математического моделирования распространения нелинейных внутренних волн в неоднородных средах.

Актуальность темы диссертации. Процессы массообмена и перемешивания в стратифицированных слоях океана и атмосферы влияют на формирование климата, развитие и поддержание биосистем, а также на их экологическое равновесие. Возникновение неустойчивости течений, генерация и обрушение внутренних гравитационных волн приводит к крупномасштабному переносу импульса, энергии и различных примесей и должно учитываться при изучении циркуляции атмосферы и океанов. При росте амплитуды и опрокидывании внутренних волн могут формироваться локализованные области турбулентности, приводящие к эффективному переносу массы в устойчиво стратифицированной жидкости. Наличие стратификации потока, обтекающего препятствие, может вызывать резкое изменение режима

обтекания и формирование локальной области интенсивного вихревого движения, значительно превышающей характерные размеры препятствия. В настоящее время ведется интенсивное изучение различных аспектов распространения и обрушения поверхностных и внутренних волн.

При моделировании динамики внутренних волн принято использовать уравнения мелкой воды для слоистых негидростатических течений. В силу высокой сложности уравнений для многослойного случая, наибольшее распространение получили модели для двухслойной и трехслойной жидкости. В диссертационной работе предлагается аппроксимация моделей, учитывающих негидростатичность распределения давления только в верхнем и/или нижнем слое, системой уравнений первого порядка, допускающей простую численную реализацию.

Отметим, что работы представлены в научных журналах высокого уровня, для которых актуальность, новизна и достоверность результатов являются необходимым условием для опубликования. Дополнительным подтверждением актуальности является то, что работа выполнена при поддержке грантов РНФ и Министерства науки и высшего образования РФ.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 97 страниц. Список литературы состоит из 82 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, показана степень разработанности по теме исследования, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, охарактеризованы новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, обоснована достоверность и приведена апробация результатов.

В первой главе предложена модель движения многослойной стратифицированной жидкости, записанная в виде системы законов сохранения первого порядка. Модель построена в длинноволновом приближении с учётом негидростатического распределения давления в нижних и верхних слоях и произвольного количества гидростатических прослоек между ними. В рамках модели построены стационарные решения, описывающие внутренние волны первой и второй моды, приведено сравнение с известными данными натурных наблюдений в шельфовой зоне Японского моря и Боденском озере. Приведены результаты нестационарных

расчетов распространения внутренних волн второй моды в каналах постоянной и переменной толщины. Модель верифицирована на известных данных полевых наблюдений, лабораторных экспериментов и прямого численного моделирования.

Во второй главе исследуется вопрос существования уединенных внутренних волн в сдвиговом течении двухслойной жидкости. Для учета влияния упрощающих предположений на форму волны рассматриваются три модели: модель с негидростатическим распределением давления в обоих слоях, модель с гидростатическим распределением давления в более тонком слое и модель, описывающая слабонелинейные волны. В терминах чисел Фруда описана область существования решения в форме уединенной волны, построены характерные профили уединенных волн.

В третьей главе предложена гиперболическая аппроксимация двухслойной модели движения идеальной неоднородной жидкости со свободной границей с учетом эффектов перемешивания, дисперсии и топографии. Получены стационарные решения с осциллирующей внутренней границей раздела и определены параметры потока, при которых течение переходит в другой режим, характеризующийся формированием волн большой амплитуды. Исследована возможность построения уединенных волн на заданном постоянном потоке и приведены примеры таких решений, получаемых в результате решения стационарных уравнений движения и проведения нестационарных расчетов течений, формирующихся вследствие обтекания препятствия переменной высоты. Показано, что в зависимости от скорости набегающего потока, высоты и формы локального препятствия вверх по течению распространяются нелинейные возмущения в виде волнового или монотонного бора.

В заключении кратко перечислены по главам основные полученные в работе результаты.

Достоверность и новизна положений, сформулированных в диссертации.
Степень обоснованности положений и выводов. Основные результаты диссертации состоят в следующем:

1. Построена модель многослойного течения стратифицированной жидкости, представляемая в виде системы неоднородных законов сохранения первого порядка. Построены стационарные и нестационарные решения уравнений в виде уединенных внутренних волн первой и второй моды. Модель верифицирована на данных

лабораторных экспериментов (распространение внутренних волн моды 2 в резервуаре постоянной толщины и сужающемся канале), полевых наблюдений (уединенные волны первой моды, зафиксированные в Японском море и Боденском озере), прямого численного моделирования (обрушение волны второй моды над широким изолированным препятствием).

2. В терминах двух безразмерных параметров определена область существования решений уравнений, описывающих распространение уединенных внутренних волн в двухслойном сдвиговом течении стратифицированной жидкости в приближении Буссинеска.
3. Выведена гиперболическая модель движения неоднородной жидкости с учетом эффектов вовлечения и перемешивания, дисперсии и топографии. Исследована возможность построения решений в форме уединенных волн, примыкающих к заданному постоянному потоку. Приведены примеры таких решений, получаемых в результате численного решения стационарных и нестационарных уравнений движения.

Полученные автором диссертации результаты являются новыми. Их достоверность и обоснованность обеспечена строгостью математического аппарата, корректностью применения апробированных в научной практике аналитических и численных подходов и сопоставлением результатов, получаемых с использованием предложенных моделей, с результатами расчетов по более сложным моделям, с известными экспериментальными данными и прямым численным моделированием, обсуждением результатов исследования на всероссийских и международных конференциях, публикацией результатов исследования в рецензируемых научных изданиях, индексируемых как в российских так и международных базах данных.

Основное содержание диссертационной работы, ее главные научные результаты в полной мере опубликованы в 4 научных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Все 4 работы опубликованы в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus., в том числе одна работа в журнале первого квартиля. Результаты работы многократно докладывались на всероссийских и международных конференциях и ведущих научных семинарах. Отдельно следует отметить тот положительный факт, что одна из статей опубликована без соавторов.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации.

Полученные результаты могут быть востребованы в области теоретической и прикладной гидродинамики, при решении практических задач мониторинга и моделирования распространения волн в шельфовой зоне моря, при описании взаимодействия внутренних волн большой амплитуды с рельефом дна, погруженными и заякоренными конструкциями.

Замечания и пожелания:

1. В диссертации не сказано, какие из рассматриваемых задач могут или не могут быть решены с помощью существующих коммерческих пакетов, в том числе в полной трехмерной постановке. Если могут быть решены, то какие особенности рассматриваемых процессов разработанные в диссертации модели и методы позволяют исследовать или обнаружить проще и надежнее.
2. При проверке работоспособности моделей не всегда выдержан порядок, когда сначала приводится подтверждение, что сделанное упрощение не влияет существенно на точность решения по сравнению с более детальной моделью, а затем уже сравнение с экспериментальными данными.
3. В диссертации не для всех полученных решений в виде бегущих волн сделано заключение о спектральной и глобальной устойчивости. Кроме того не обсуждается отдельно вопрос о том, не изменяется ли характер устойчивости решений при переходе от более полных моделей к разработанным упрощенным моделям.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. В целом диссертация написана ясным научным языком, хорошо структурирована и оформлена. Автореферат соответствует установленным требованиям и полностью отражает основное содержание диссертации.

Заключение. Диссертация Ермашиной Виктории Евгеньевны «Математические модели распространения нелинейных внутренних волн в слоистой стратифицированной жидкости» является завершенной научно-квалификационной работой, посвященной актуальной тематике. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ и критериям, установленным действующим «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор, Ермашина Виктория Евгеньевна, заслуживает присуждения

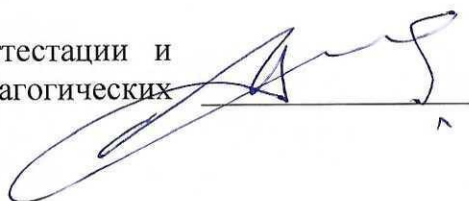
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на заседании кафедры суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов института лазерных и плазменных технологий 15 октября 2024 года, протокол № 2 от «15» октября 2024 года.

Отзыв подготовил заведующий кафедрой
суперкомпьютерного моделирования
инженерно-физических процессов
Института лазерных и плазменных
технологий НИЯУ МИФИ
д. ф.-м.н.

 В.А. Шаргатов

Председатель совета по аттестации и
подготовке научно-педагогических
кадров НИЯУ МИФИ,
д. ф.-м. н., профессор

 Н.А. Кудряшов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Почтовый адрес: 115409, Москва, Каширское ш., 31
Телефон: +7 495 788 5699, +7 499 324 7777
Адрес электронной почты: info@mephi.ru
Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://mephi.ru/>